

Kernafval Kerncentrale Dodewaard (december 2012, niveau 3 examen)

De gebruikte splijtstof van de kerncentrale Dodewaard werd na de sluiting in 1997 naar Sellafield in Groot-Brittannië gebracht voor opwerking. Het deel dat niet kon worden hergebruikt is veilig verpakt in zogenaamde canisters en in het voorjaar van 2010 verscheept naar Vlissingen. De transportcontainer, met de totale hoeveelheid kernafval van Dodewaard, bevat 28 hoogradioactieve canisters, die vervolgens zijn opgeslagen bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). De campagneleider kernenergie van Greenpeace maakte hierover het volgende statement: '(...) Dit afval blijft honderdduizenden jaren levensgevaarlijk. Als je nu zo'n vat op de middenstip van een voetbalveld zet en je probeert er vanaf de doellijn naar toe te rennen dan ben je halverwege al dood'. U wordt als stralingsdeskundige gevraagd om een gefundeerd commentaar op dit statement te geven.

Gegevens:

- De gemiddelde activiteit per canister bedraagt $14 \text{ PBq} = 14 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$;
- Met betrekking tot het stralingsniveau van de canisters is ^{137}Cs het dominante nuclide. In deze opgave worden de langlevende alfa-stralers in het kernafval buiten beschouwing gelaten;
- Voor deze opgave mag alle activiteit aan ^{137}Cs worden toegeschreven;
- Op een voetbalveld bedraagt de afstand van de doellijn naar de middenstip 50 m;
- In deze opgave mogen de canisters samen als één puntbron worden beschouwd. De afschermdende werking van de transportcontainer mag worden verwaarloosd;
- **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007), blz. 172-173, gegevens ^{137}Cs ;
- **Bijlage:** ICRP Report 33 (1982), figuur 16. Brede bundel transmissie van fotonen afkomstig van ^{137}Cs , ^{60}Co en ^{124}Sb door lood.

Vraag 1

Bereken het omgevingsdosisequivalenttempo ($H^*(10)$) op de doellijn als de totale activiteit, aanwezig in de 28 canisters, onafgeschermd op de middenstip van dit voetbalveld zou staan.

Vraag 2

Na hoeveel jaar is het omgevingsdosisequivalenttempo ten gevolge van ^{137}Cs , aanwezig in de 28 canisters samen, onder $0,10 \mu\text{Sv/h}$ (grofweg het omgevingsdosisequivalenttempo binnenshuis) gedaald als men op 1 m van deze onafgeschermdde canisters staat?

Voor de berekening van het omgevingsdosisequivalent in het geval dat men naar een puntbron toe beweegt, kan de volgende vergelijking worden gebruikt:

$$H^*(10) = \int_0^T \dot{H}^*(10,t) dt = \frac{hA}{v} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \right)$$

Met h = omgevingsdosisequivalenttempoconstante in $\mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 ,
 v = (constante) snelheid waarmee men naar de bron toe beweegt in meter per uur,
 R_0 = beginafstand [m], R_1 = afstand tot de bron in de eindsituatie [m] en T de tijd (in uren) nodig om van R_0 naar R_1 te komen.

Vraag 3a

Bereken het omgevingsdosisequivalent voor een persoon die met een constante snelheid van $v = 10 \text{ km/h}$ vanaf de doellijn van het voetbalveld richting de 28 onafgeschermdde canisters rent tot aan halverwege de middenstip.

Vraag 3b

Geef op grond van het antwoord op vraag 3a uw radiobiologisch commentaar op de stelling van de campagneleider van Greenpeace voor zover deze betrekking heeft op blootstelling door externe straling. Betrek hierin de ernst van de blootstelling en de tijdschaal waarop de biologische gevolgen zich manifesteren. Neem aan dat met 'vat' de transportcontainer met 28 onafgeschermdde canisters worden bedoeld. Indien u het antwoord op vraag 3a schuldig bent gebleven kunt u uitgaan van 50 mSv.

Vraag 4

In werkelijkheid zijn de 28 canisters zeer goed afgeschermd met lood in een grote, cilindrische transport container. Bepaal de minimale dikte (afgerond op hele cm's) van het lood in deze container om het omgevingsdosisequivalenttempo op de doellijn terug te brengen tot $0,4 \mu\text{Sv/h}$.

¹³⁷Cs

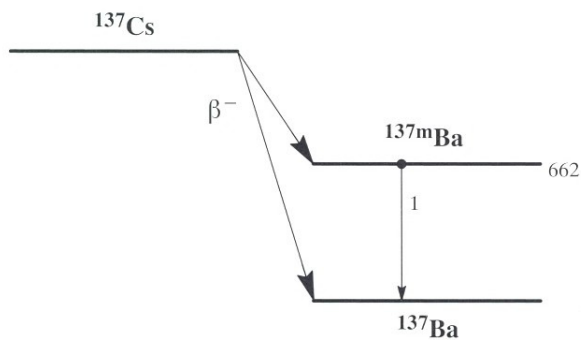
Z = 55

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 30,25 \text{ j} = 9,55 \times 10^8 \text{ s}$$

$$\lambda = 7,26 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Van ^{137m}Ba ($T_{1/2} = 2,55 \text{ m}$; $y = 0,946$):

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$	Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,946	173 512	γ_1	0,898	662
β^-	0,054	425 1173	ce K γ_1	0,083	624

Bronconstanten (van dochter ^{137m}Ba in evenwicht met ¹³⁷Cs)

Kermatempo in lucht	$k = 0,077 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,093 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 3,19 \times 10^{12} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$ (incl. ^{137m} Ba)
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ (incl. ^{137m} Ba)
Vervoer	$A_1 = 2 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹³⁷Cs is een belangrijk splijtingsproduct. Het wordt onder meer gebruikt als gamma-referentiebron en als bron bij brachytherapie.

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat cesium zich vanuit het bloed homogeen over alle organen/weefsels verdeelt.

De biologische halveringstijden zijn:

Fractie	$T_{1/2}$
0,1	2 d
0,9	110 d

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie

Alle verbindingen $f_1 = 1$ Klasse F

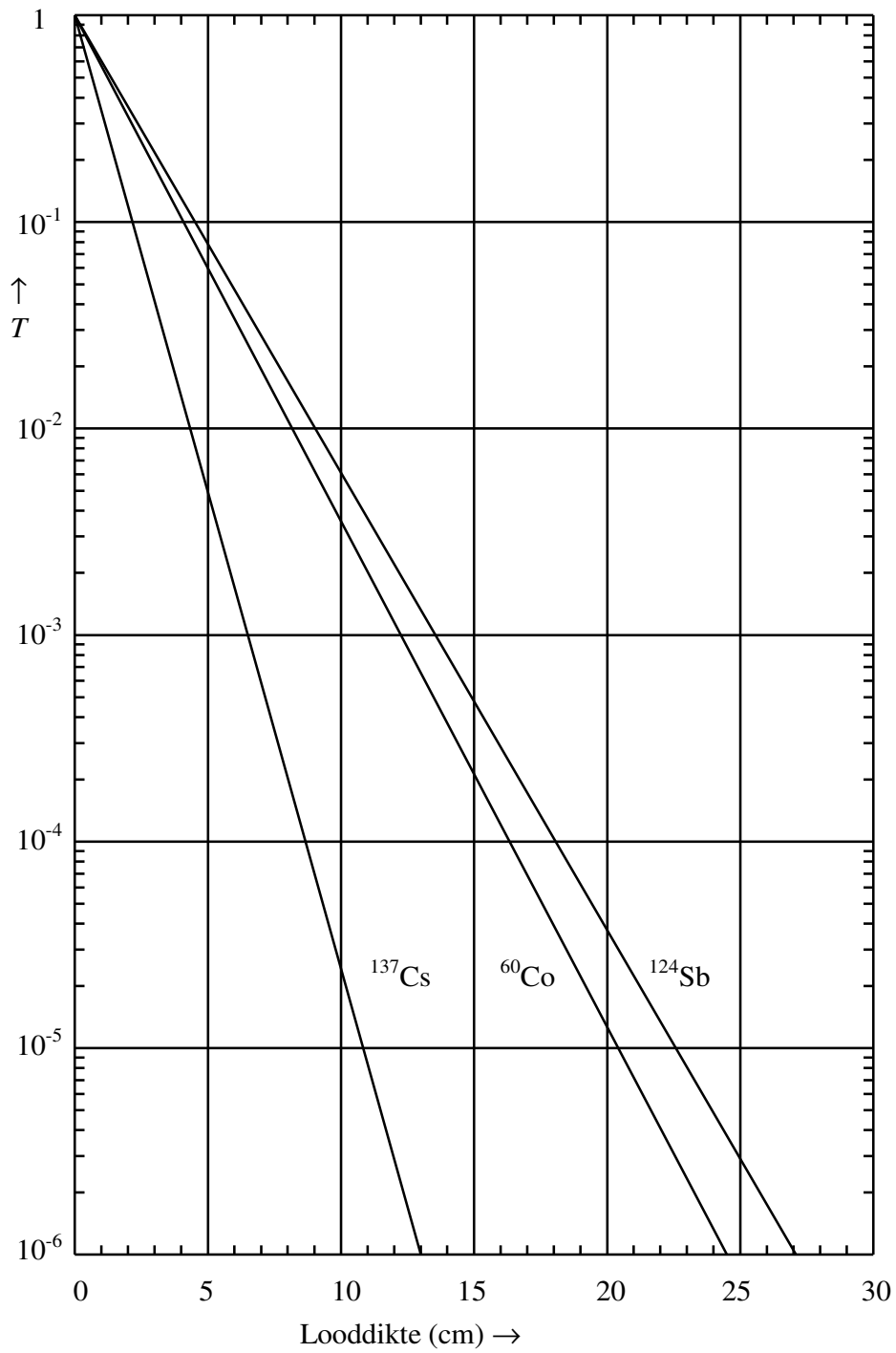
Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie	Inhalatie	
	$f_1 = 1$	F	
$e(50)(w)$	$1,3 \times 10^{-8}$	$6,7 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$7,7 \times 10^7$	$1,5 \times 10^8$	Bq
$e(50)(b)$	$1,3 \times 10^{-8}$	$4,8 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$7,7 \times 10^7$	$2,1 \times 10^8$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)	
0,25	$1,0 \times 10^0$	$7,4 \times 10^{-1}$
1	$9,9 \times 10^{-1}$	$6,0 \times 10^{-1}$
2	$9,6 \times 10^{-1}$	$5,1 \times 10^{-1}$
3	$9,4 \times 10^{-1}$	$4,7 \times 10^{-1}$
5	$9,0 \times 10^{-1}$	$4,4 \times 10^{-1}$
7	$8,8 \times 10^{-1}$	$4,2 \times 10^{-1}$



Brede bundel transmissie van fotonen afkomstig van ^{137}Cs , ^{60}Co en ^{124}Sb door lood.